Благодаря уникальной способности атомов углерода соединяться друг с другом и образовывать длинные молекулы, включающие в качестве заместителей и другие элементы, возникло огромное множество органических соединений. Но, даже соединяясь только сам с собой, углерод способен порождать огромный набор различных структур с разнообразными свойствами – так называемых аллотропных модификаций [2].

Переход на наноуровень открывает новые уникальные свойства углерода. Оказалось, что атомы углерода способны без участия других элементов образовывать целый набор наноструктур, отличающихся друг от друга, в том числе и размерностью. В их число входят фуллерены, графен, нанотрубки, наноконны и так далее.

Перспективное применение нанотехнологий принесет резкое увеличение стоимости валового внутреннего продукта и значительный экономический эффект в следующих базовых отраслях экономики [3].

В электронике и оптоэлектронике – расширение возможностей радиолокационных систем за счет применения фазированных антенных решеток с маломощными СВЧ-транзисторами на базе наноструктур и волоконно-оптических линий связи с повышенной пропускной способностью с применением фотоприемников и инжекционных лазеров на структурах с квантовыми точками; усовершенствование тепловизионных обзорноприцельных систем на основе применения матричных фотоприемных устройств, изготовленных на основе нанотехнологий и отличающихся высоким температурным разрешением; создание мощных экономичных инжекционных лазеров на базе наноструктур для накачки твердотельных лазеров, применяемых в фемтосекундных системах.

В информатике – многократное повышение производительности систем передачи, хранения и обработки информации; создание новых архитектур высокопроизводительных устройств с приближением возможностей вычислительных систем к свойствам объектов живой природы с элементами интеллекта; адаптивное распределение управления функциональными системами, специализированные компоненты которые для достижения цели способны к самообучению и координированным действиям [3].

1. Вуль А.Я., Соколов В.И. Исследования наноуглерода в России: от фуллеренов к нанотрубкам и наноалмазам/ Российские нанотехнологии, 2007. Т. 3.
2. Pokropivny V.V., Skorokhod V.V. New dimensionality classifications of nanostructures // Physica E, 2008.
3. Кац Е.А. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нанокластеры: родословная форм и идей. — М.: ЛКИ, 2008.

Чжан Р.В.

**Использование естественных криогенных ресурсов криолитозоны в
гидротехническом строительстве**

*Институт мерзлотоведения им П. И. Мельникова СО РАН
(Россия, Якутск)*

doi:10.18411/spc-12-04-2018-31

idsp: 000001:spc-12-04-2018-31

Аннотация

При освоении Сибири и Дальнего Востока России, которая характеризуется суровыми природно-климатическими и сложными мерзлотно-геологическими условиями необходимо решение ряда проблем технико-экономического, экологического и инженерного характера. Остро стоит задача обеспечения устойчивости гидротехнических сооружений. В статье предложен один из путей

решения этой задачи, а именно использование естественных криогенных ресурсов Земли.

Ключевые слова: криолитозона, криопэг, криогенный ресурс, гидротехническое сооружение, основание, плотина.

Понятие «ресурсы» вобрало в себя большое множество категорий живой и неживой природы, включая экономические и информационные источники [1], [3], [6], [7]. Ресурсный подход в природопользовании криолитозоны сформулировал представление о своеобразном природном ресурсе многолетнемерзлой толщи – криогенном ресурсе. Криогенный ресурс литогенной основы с успехом используется в фундаментах отдельных сооружений и целых технических систем. Однако многолетнемерзлые грунты, используемые в качестве оснований сооружений в процессе эксплуатации, подвержены антропогенному влиянию и изменению климата на Земле, которое началось с середины прошлого столетия. Эти два фактора направлены на повышение температуры грунтов и как следствие понижение их прочностных свойств. В сложившейся ситуации необходимо принимать меры по сохранению теплового состояния грунтов, обеспечивающих их нормативную несущую способность. В этой связи возникла мысль о создании инновационной технологии по обеспечению устойчивости грунтов, используемых в качестве тела и оснований гидротехнических сооружений, обладающей высоким эколого-экономическим эффектом с использованием криогенных ресурсов криолитозоны.

Криогенные ресурсы есть часть природных ресурсов, и под которыми понимаем [1]: *«материальные объекты знания и силы природы, происхождение и развитие которых обусловлено сферой холода (температурой среды ниже нуля), и которые используются или могут быть использованы человеком в качестве предметов или средств производства»*. Различают искусственные и естественные криогенные ресурсы. Искусственные криогенные ресурсы создаются человеком, естественные криогенные ресурсы – чисто природный продукт и являются *«составным элементом холодного географического пространства, ... и распространены во всех трех сферах планеты Земля – в атмосфере, литосфере и гидросфере»*.

К настоящему времени существует единственная классификация криогенных ресурсов [1], в которую наряду с материальными включены энергетические и информационные ресурсы. Последние приобретают важнейшее значение, так как позволяют объединить мировую логистику хозяйственной деятельности на благо народов [6].

Криопэги – это соленые подземные воды и рассолы, имеющие отрицательную температуру, но находящиеся в жидком состоянии. Вода не замерзает при низких температурах в результате высокой (от 50 г/л и выше) минерализации. Первую классификацию природных вод по температурному режиму предложил Н.И. Толстихин [8]. Температура подземных и надмерзлотных криопэгов может достигать $-30...-40^{\circ}\text{C}$, межмерзлотных $-2...-12^{\circ}\text{C}$, подмерзлотных $0...-5^{\circ}\text{C}$ [1], [5].

Использование естественных криогенных ресурсов – рассолов с отрицательными температурами, залегающих в криолитозоне, для замораживания и понижения температуры грунтов, используемых в качестве оснований в промышленном и гражданском строительстве, была разработана технологическая система [9], на которую получен патент [10].

При разработке полезных ископаемых в криолитозоне вскрываются подземные воды – криопэги (рассолы), мешающие добычным работам в котлованах. Для производства работ «насухо» рассолы перекачивают в специально создаваемые рассолохранилища, образуемые с помощью грунтовых плотин.

Гидроузлы для хранения рассолов в условиях криолитозоны являются специфическими гидротехническими сооружениями. Специфичность их заключается в

том, что рассолохранилища в процессе эксплуатации приобретают по глубине характерный температурный и гидрохимический режим. Установлено, что придонные слои круглый год имеют высокую концентрацию солей (120-130 г/л) и устойчивую отрицательную температуру в пределах от -4°C до $-8,3^{\circ}\text{C}$ [1], [2]. При взаимодействии криопэгов с многолетнемерзлыми породами, лед содержащийся в них растворяется. Породы переходят в новое криогенное состояние, но уже с измененными физико-механическими свойствами. Особенно изменяются их фильтрационные и прочностные характеристики, которые определяют устойчивость сооружения в целом. В случае потери устойчивости сооружения возникает ряд проблем экологического характера, вплоть до нарушения биоты целых регионов.

На мысль повысить статическую и фильтрационную устойчивость грунтовой плотины с использованием рассолов натолкнули исследования проводимые Институтом мерзлотоведения СО РАН на плотине рассолохранилища, на руч. Тымтайдаах [4].

Накопитель минерализованных вод системы осушения карьера «Мир» находится в 8 км к северо-востоку от г. Мирный Республики Саха (Якутия), в верховьях ручья Тымтайдаах, левого притока реки Малая Ботуобия, впадающей в р. Вилюй. Накопитель является гидротехническим сооружением II класса капитальности, по типу — балочный, наливной. Грунтовая плотина, насыпная, каменно-набросная из мергелей и диабазов, с ядром, зубом и понуром из суглинка, таломерзлого типа. Основные проектные параметры плотины: отметка гребня — 327,0 м; максимальная высота — 37,5 м; длина по гребню — 1100,0 м. На рис. 1 и 2 изображены план, общий вид гидроузла и сечение плотины накопителя рассолов.

а
б
Рис.1. План (а) и общий вид гидроузла на руч. Тымтайдаах (б)

Рис.2. Типовое сечение плотины.

В настоящее время одной из основанных проблем эксплуатации накопителя минерализованных вод является фильтрация в основании левого крыла плотины. Близрасположенные к плотине выходы воды отмечаются в левобережной части

нижнего бьефа. Зоны фильтрационных потоков в нижнем бьефе прослеживаются по выходам воды с высокой минерализацией (рис.3) [4].

Рис. 3. Выход фильтрата в левобережной части плотин со стороны нижнего бьефа [4].

Для решения проблемы предлагается следующая инновационная система для обеспечения статической и фильтрационной устойчивости плотин в криолитозоне. На рис.4 показана принципиальная технологическая схема системы охлаждения и замораживания грунтов мерзлого противофильтрационного устройства плотины с использованием в качестве криогенного флюида естественного криопэга.

Рисунок 4. Принципиальная схема системы для охлаждения и замораживания грунта мерзлого противофильтрационного устройства плотины [11].

1 - многолетнемерзлое основание; 2 - мерзлое противофильтрационное ядро из суглинка; 3 - геосинтетический солезащитный экран переходящий в понур; 4 и 5 - верховая и низовая упорные призмы из дисперсного грунта или каменной наброски; 6 и 7 - переходные зоны из песка; 8 - замораживающее устройство; 9 - рассолозаборник; 10 - насос; 11, 12 - подающий и отводящий рассолопроводы; 13, 14 - подводящий и отводящий коллектора; 15 - рассолохранилище естественных природных рассолов.

Грунтовая плотина возводится на многолетнемерзлом основании 1 и содержит мерзлое противофильтрационное ядро из суглинка 2; геосинтетический солезащитный экран 3; верховую и низовую упорные призмы из дисперсного грунта или каменной наброски 4 и 5; переходные зоны из песка 6 и 7; замораживающее устройство 8, переходящий в понур. Противофильтрационное ядро 2 отсыпается из грунта, увлажненного пресной водой до **состояния полной влагоемкости**.

Замораживающая система содержит следующие конструктивные элементы: замораживающее устройство 8; рассолозаборник 9; насос 10; подающий 11 и отводящий 12 рассолопроводы; подводящий 13 и отводящий 14 коллектора; рассолохранилище естественных природных рассолов 15.

Со стороны верхнего бьефа на откос ядра и в основании верховой упорной призмы в виде понура плотины по переходному слою из песка 7 уложен геосинтетический экран 3 (типа HDPE). Со стороны нижнего бьефа к противофильтрационному экрану 3 примыкает льдогрунтовая мерзлотная завеса, которая создается посредством колонок замораживающей системы 8 и герметически присоединена к экрану в результате смерзания.

Предложенная технологическая схема с использованием в качестве криогенного флюида естественного криопэга, позволит повысить надежность плотины (фильтрационную и статическую устойчивость) за счет эффективности круглогодичной работы замораживающей системы, образующих мерзлую противофильтрационную завесу в теле и основании, а использование геосинтетического экрана с понуром, обеспечивает дополнительную фильтрационную, в том числе солезащитную, устойчивость сооружения.

Технический результат достигается за счет использования рассолохранилища, как природной замораживающей машины, обеспечивающей формирование и длительное существование рассолов с низкими отрицательными температурами, используемые для поддержания тела и основания плотины в мерзлом состоянии.

Новым в предложенной технологической схеме является то, что в циркуляционном контуре охлаждения используются природные растворы, низкие отрицательные температуры в которых формируются за счет теплообмена рассолохранилища с окружающей средой.

Заключение

В настоящее время криогенные ресурсы, как часть природного ресурса, приобрели глобальный характер. Постоянно разрабатываются новые инновационные технические средства по рациональному их использованию и охране окружающей среды. Разработанная схема системы с использованием криопэгов для охлаждения, понижения температуры и замораживания грунтов грунтовых плотин в криолитозоне является инновационной разработкой и имеет хорошие перспективы.

1. Алексеев В.Р. Притяжение мерзлой земли / В.Р. Алексеев; отв. ред. В.В. Шепелёв; Рос.акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2016. – 538 с.
2. Алексеев С.В., Вахрамеев А.Г., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / Алексеев С.В., Вахрамеев А.Г., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. – Иркутск: Изд-во «Географ», 2014. – 162 с.
3. Большая Советская энциклопедия. 3-е издание. Т. 20. М. Изд-во «Советская энциклопедия». – 1975.- с.593-595.
4. Великин С.А. Геофизический мониторинг гидротехнических сооружений в криолитозоне на примере накопителя минерализованных вод Тымтайдах. Инженерные изыскания. М., 2006, №2, - с. 52-59.
5. Кононова, Р. С. Криопэги – отрицательные температуры воды земли / Р. С. Кононова, Я. В. Неизвестнов, Н. И. Толстихин, О. Н. Толстихин // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1971. – Вып. XI. – С. 75–88.
6. Мельников В.П. Актуальность ресурсного подхода в криологии (приветственная речь на открытии конференции «Криосфера нефтегазовых провинций». Тюмень, 2004). Криосфера Земли. Т.IX, № 1. 2005. – с. 3-6.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М., Мысль. – 1990. – 631с.
8. Толстихин Н.И. Криосфера и криопеги // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1982. – № 3. – с. 115-117.
9. Чжан Р.В. К вопросу использования криопэгов как криогенного ресурса криолитозоны при строительстве и эксплуатации сооружений // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 5. – С. 98-104.
10. Чжан Р.В., Шестернев Д.М., Кузьмин Г.П., Великин С.А., Чжан А.А. Система для охлаждения и замораживания грунта. Патент на изобретение № 2634765. Заявка № 2016137039. Опубликовано: 03.11. 2017 Бюл. № 31.
11. Чжан Р.В., Шестернев Д.М., Великин С.А., Чжан А.А. Грунтовая плотина в зоне вечной мерзлоты. Заявка № 2017108228/13 (014394), заявлена 14.03.2017.